



Bartosz Budziński
Paweł Mieczkowski
Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie



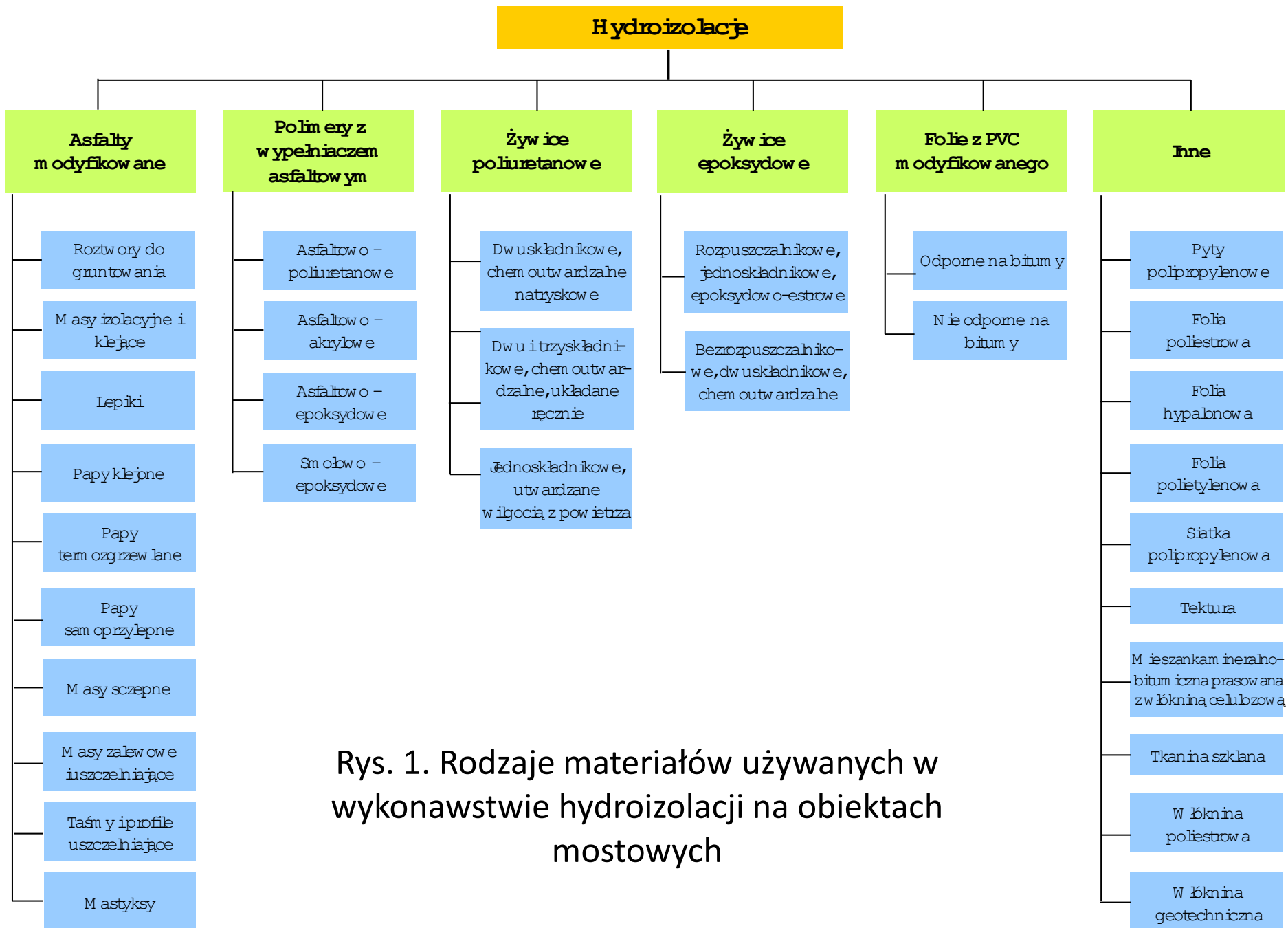
Doświadczenia w zastosowaniu technologii SMA-MA

Izolacja na obiektach mostowych stanowi w-wę pośrednią między konstrukcją płyty pomostu a warstwami nawierzchni. Na etapie budowy i eksploatacji musi być odporna na:

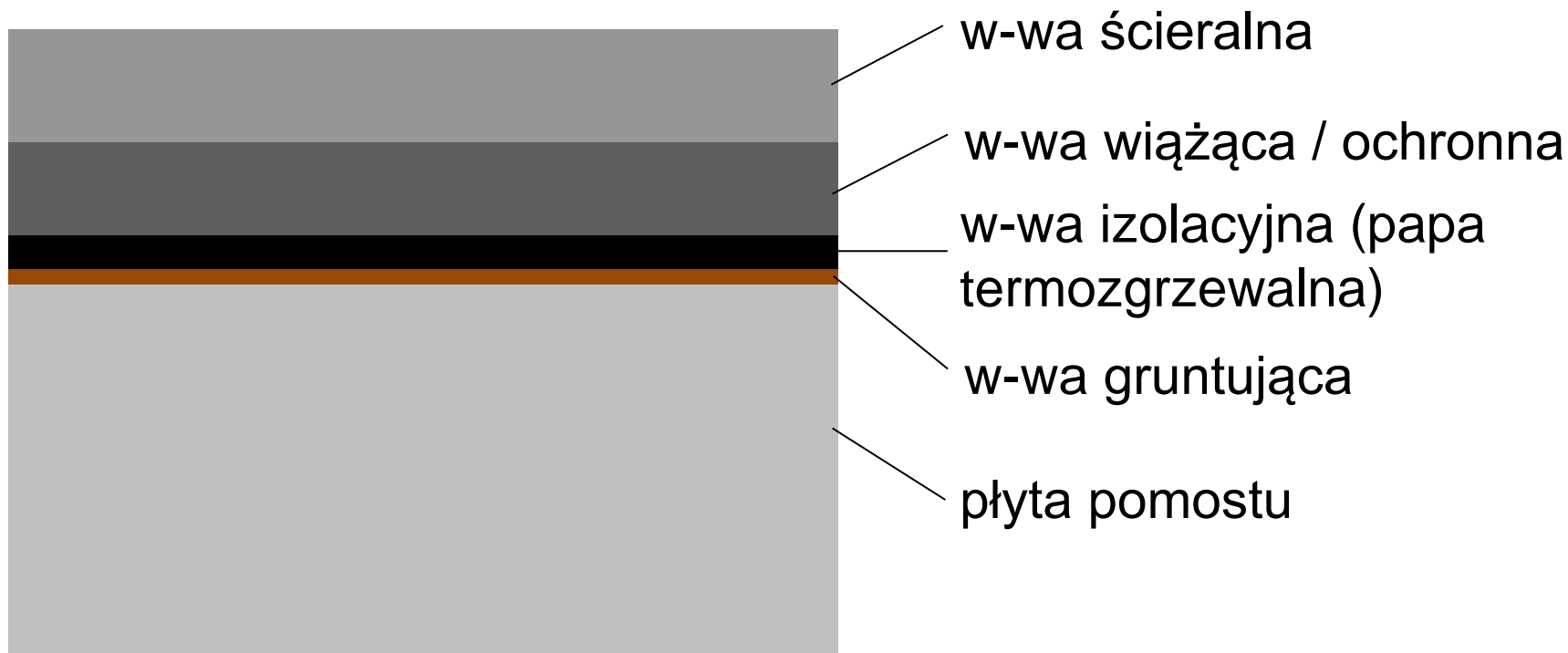
- ✓ oddziaływania dynamiczne od ruchu pojazdów w zakresie temperatur od -30°C do $+60^{\circ}\text{C}$,
- ✓ stałe zawilgocenie przy niewielkich spadkach poprzecznych i podłużnych izolowanych powierzchni,
- ✓ działania sił poziomych i pionowych w podwyższonej temperaturze $80-200^{\circ}\text{C}$ podczas wbudowywania MMA,
- ✓ działanie sił rozwarstwiających, będących wynikiem różnic w rozszerzalności materiałów podłoża, izolacji i nawierzchni;
- ✓ oddziaływania poziome od hamowania, przyspieszania i sił odśrodkowych pojazdów na łuku;
- ✓ brak możliwości bieżącej konserwacji i lokalnych napraw uszkodzeń izolacji.

Do podstawowych funkcji warstwy izolacyjnej należą:

- ✓ dobra przyczepność do podłoża (betonowego lub stalowego),
- ✓ nieprzepuszczalność dla wody i związków chemicznych, mających wpływ na korozję płyty;
- ✓ możliwość relaksacji naprężeń rozciągających i ścinających od obciążenia ruchem pojazdów,
- ✓ kompensacja zróżnicowanych odkształceń termicznych warstw nawierzchni i płyty,
- ✓ łatwość i mała pracochłonność przy jej wbudowywaniu,
- ✓ możliwość mechanicznego wbudowywania warstw asfaltowych (ochronnej),
- ✓ możliwość prowadzenia prac etapami, nieskutkująca utratą szczelności warstwy;
- ✓ zapewnienie bezpieczeństwa ludziom i środowisku, podczas wykonywania izolacji oraz w czasie eksploatacji obiektu.



Rys. 1. Rodzaje materiałów używanych w wykonawstwie hydroizolacji na obiektach mostowych



Rys. 2. Typowa konstrukcja nawierzchni asfaltowej z warstwą izolacyjną płyty pomostu obiektu mostowego

Warstwy ścieralne są najczęściej wykonywane jako:

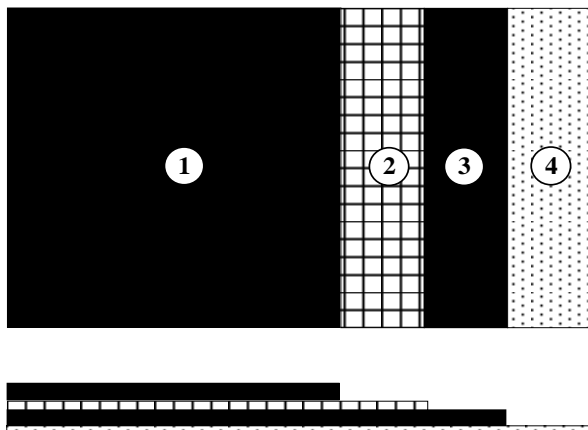
- ✓ **beton asfaltowy** o zawartości wolnej przestrzeni (po wbudowaniu) od 1 do 5 (6) % i uziarnieniu od 8 do 11 mm (AC 8 S, AC 11 S);
- ✓ **mastyks wysokogrynowy** o uziarnieniu do 8 lub 11 mm (SMA 8, SMA 11) i zawartości wolnej przestrzeni (po wbudowaniu) od 1,5 do 5 (6) %;
- ✓ **asfalt lany** o uziarnieniu do 8 lub 11 mm (MA 8, MA 11) o zawartości wolnej przestrzeni nieprzekraczającej 0,5–2,0 %.

Warstwy ochronne na chwilę obecną są najczęściej wykonywane z mieszanki typu **asfalt lany** o uziarnieniu do 8 lub 11 mm (MA 8, MA 11) – wymóg z zapisów WT-2:2014.

Warstwy izolacyjne wykonuje się najczęściej na bazie:

- ✓ pap termozgrzewalnych,
- ✓ żywic syntetycznych np. (poliuretanowych, epoksydowych, metakrylowych itp.),
- ✓ lepiszcz asfaltowych wysokomodyfikowanych,
- ✓ mastyksów (mieszanin asfaltów i wypełniaczy).

Papy termozgrzewalne – kompozyty arkuszowe, w których element zbrojący jest obustronnie powleczony warstwą mieszanki najczęściej polimeroasfaltu i wypełniacza mineralnego.



Rys. 3. Typowy układ warstwowy w papach termozgrzewalnych. Oznaczenia: 1, 3 – powłoka hydroizolacyjna z lepiszcza asfaltowego; 2 – wkładka z włókniny, np. szklanej lub poliestrowej; 4 – przekładka antyadhezyjna

Warstwa gruntująca (primer) – jest to materiał najczęściej na bazie lepiszcz asfaltowych, którego zadaniem jest zapewnienie dobrego połączenia warstwy izolacyjnej z podłożem.

Do **zalet** konstrukcji z udziałem izolacji papowych zalicza się:

- ✓ niski ciężar 1 m² izolacji, który nie powoduje nadmiernego dociążania płyty pomostowej;
- ✓ wysoką kohezję masy powłokowej, wynikającą z zastosowania asfaltu modyfikowanego polimerem, zapewniającą dobrą zaporę dla wilgoci i roztworów soli (np. mieszanki odladzające), zagrażających płycie pomostu;
- ✓ obecność osnowy (szklanej, poliestrowej czy węglowej), posiadającej obok wysokiej wytrzymałości na rozciąganie również zdolność do znacznych odkształceń.

Problemy i zagrożenia, związane ze stosowaniem pap termozgrzewalnych w warstwach izolacyjnych:

- ✓ brak miejscowego połączenia papy z podłożem,
- ✓ niska kohezja lepiszcza warstwy gruntującej,
- ✓ możliwość przepalenia warstewki lepiszcza na spodniej (ogrzewanej) części papy,
- ✓ ograniczenie zdolności do relaksacji naprężeń oraz kompensacji odkształceń w wyniku zbyt intensywnego oddziaływania wysokiej temperatury płomienia palnika.

Przyczyny powstawania wybrzuszeń w trakcie wbudowywania w-wy ochronnej:

- ✓ występowanie nieciągłości pomiędzy warstwą papy i podłoża betonowego bądź niska kohezja lepiszcza w primerze,
- ✓ wzrost ciśnienia parcjalnego powietrza w pustkach, warunkowany zachowaniem stanu równowagi termodynamicznej jak dla gazu doskonałego (przy stałej objętości);
- ✓ przemiany fizyczne, towarzyszące zamianie wody w parę wodną, powodujące zwiększenie się objętości drugiego z czynników przy stałej masie obu substancji.

a)



■ Podłoże betonowe

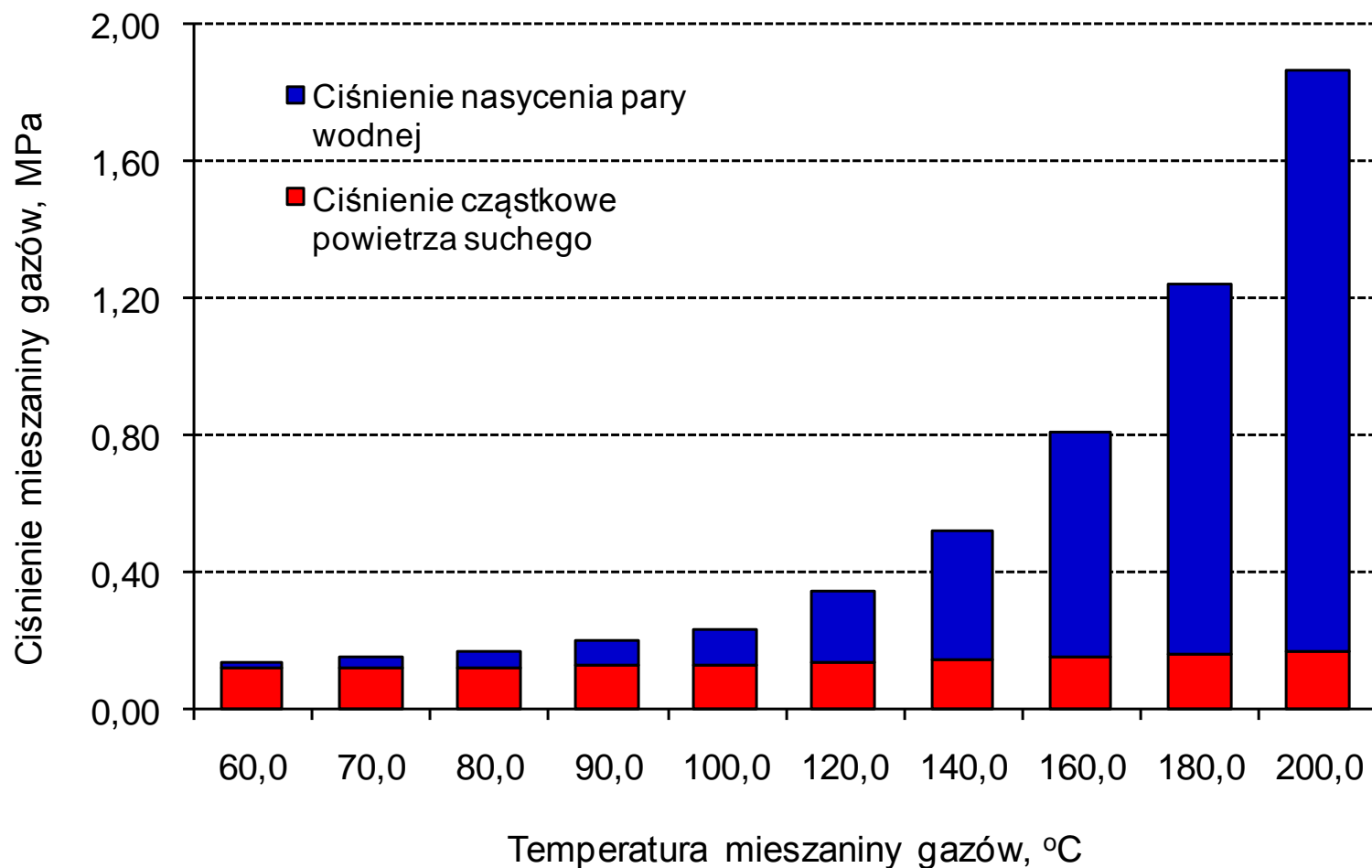
■ Papa termozgrzewalna

□ Miejsca braku szczepności papy z podłożem

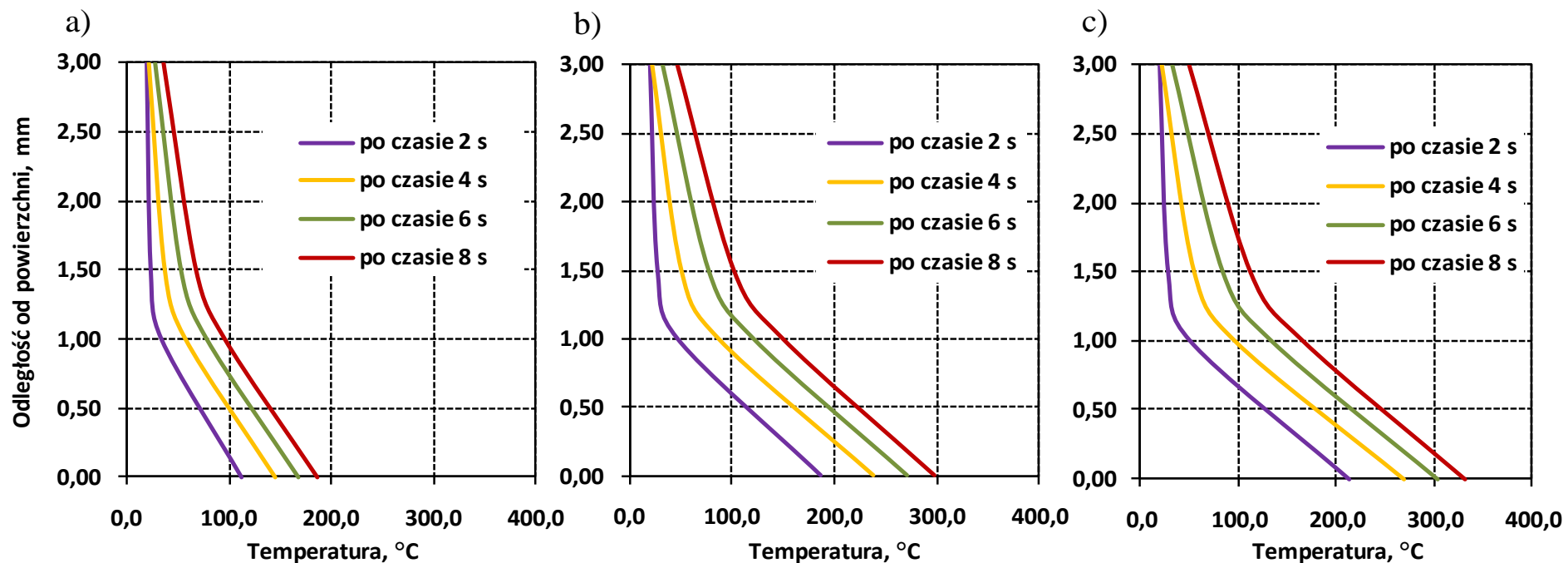
b)



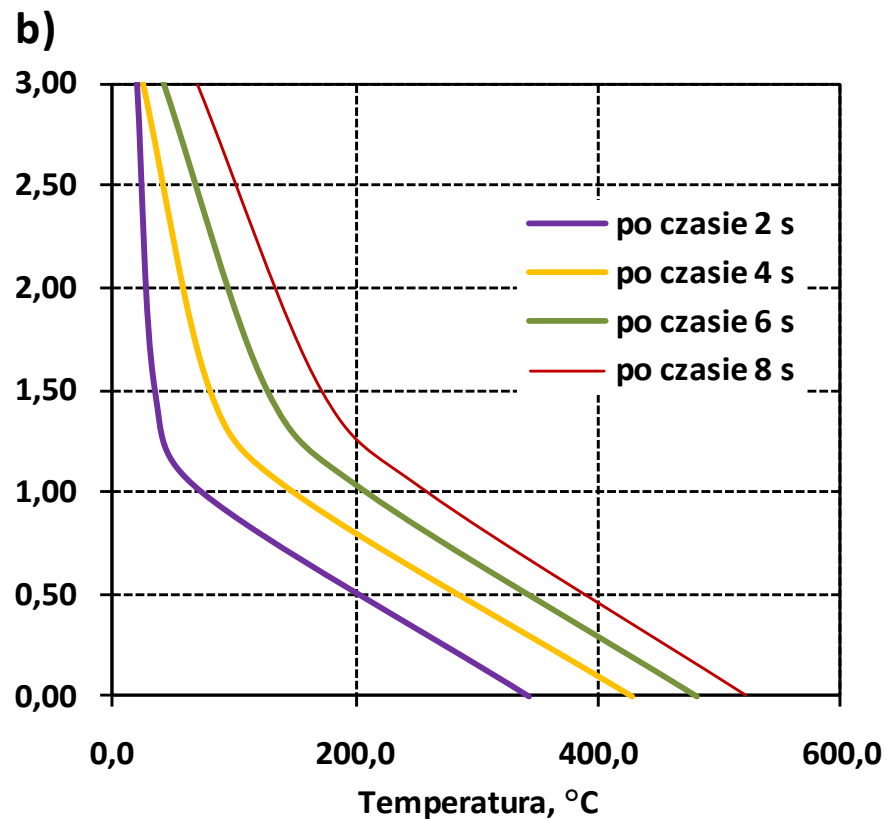
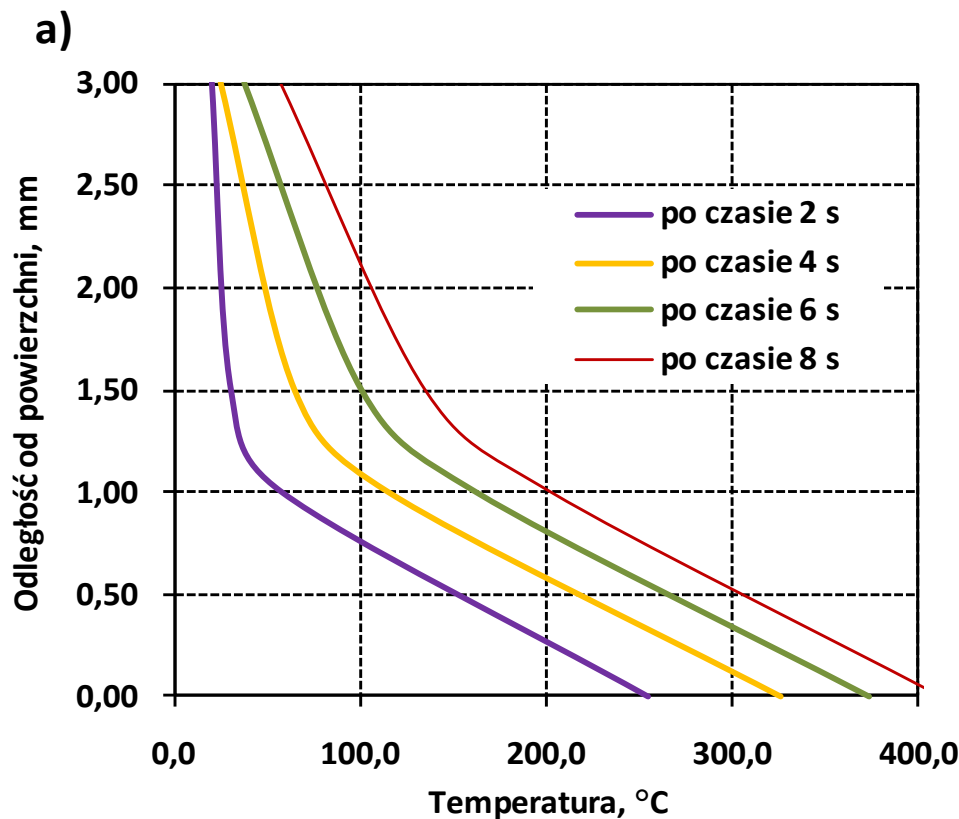
Rys. 4. Niewłaściwe połączenie papy termozgrzewalnej z podłożem betonowym:
a) widok z góry „papa-podłoże”, b) widok w przekroju warstwy



Rys. 5. Wpływ ciśnień cząstkowych pary wodnej i suchego powietrza na sumaryczną wartość ciśnienia mieszaniny gazów w zależności od temperatury



Rys. 6. Rozkład temperatury (teoretycznej) w czasie w warstewce ogrzewanego lepiscza asfaltowego (papa asfaltowa) płomieniem palnika o temperaturze 700°C i prędkości przepływu gazów : a) 7 m/s, b) 14 m/s, c) 20 m/s



Rys. 7. Rozkład temperatury (teoretycznej) w czasie w warstewce ogrzewanego lepiscza asfaltowego (papa asfaltowa) płomieniem palnika o temperaturze 1000°C i prędkości przepływu gazów : a) 7 m/s, b) 14 m/s.

Alternatywą dla typowych warstw ochronnych (jak również izolacyjnych) może być mieszanka mastyksowo-grysowa o zwiększonej zawartości lepiszcza asfaltowego i wypełniacza (SMA-MA).

Do podstawowych **zalet** mieszanki należą:

- możliwość układania tradycyjnym rozściełaczem,
- stosunkowo nieduża praca zagęszczania (dwa przejazdy walca),
- wysoka zawartość lepiszcza gwarantująca pełną szczelność warstwy,
- odporność na deformacje trwałe dzięki dużej zawartości frakcji grysowych,
- odporność na zmęczenie dzięki zastosowaniu asfaltu modyfikowanego o średniej penetracji (około 50-80 x 0,1 mm).

Możliwość wykorzystania ogólnie dostępnego sprzętu do wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych oraz specyfika mieszanki SMA-MA jest ukierunkowana na maksymalne ograniczenie możliwości popełnienia błędów na etapie realizacji (wykonanie szczelnej, odpornej na oddziaływania zewnętrzne warstwy).

Mieszanka SMA-MA może stanowić samodzielną warstwę ochronno-izolacyjną.

Bardzo ważnym czynnikiem jest zatem etap projektowania mieszanki SMA-MA, który oprócz wiedzy teoretycznej i empirycznej z zakresu badań laboratoryjnych, wymaga również doświadczenia wykonawczego.

Mieszanka SMA-MA musi być tak zaprojektowana, aby na etapie zagęszczania (rozkładarka, walce) doszło do wyciśnięcia mastyksu na powierzchni warstwy.



Rys. 8. Powierzchnia mieszanki SMA-MA 8 po zagęszczeniu

Tablica 1. Propozycja wymagań w stosunku do mieszanki SMA-MA

Właściwość	Warunki zagęszczenia wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Wymiar mieszanki
			SMA-MA 8
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2 x 35 uderzeń	PN-EN 12697-8, p.4	$V_{\max 1,5}$
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2 x 50 uderzeń	PN-EN 12697-8, p.4	$V_{\max 1,0}$
Odporność na deformacje trwałe warstwy wiążącej (ochronnej) ^{a)}	C.1.20, wałowanie, $P_{98} - P_{100}$	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 45 °C, 10 000 cykli	$WTS_{AIR 0,50}$ PRD_{AIR} Deklarowane
Odporność na deformacje trwałe pakietu warstw (ścieralnej i wiążącej) ^{b)}	C.1.20, wałowanie, $P_{98} - P_{100}$	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 50 °C, 10 000 cykli	$WTS_{AIR 0,15}$ $PRD_{AIR 5,0}$
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 x 35 uderzeń	PN-EN 12697-12, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania ^{o)} , badanie w 25 °C	$ITSR_{90}$
Splywność lepizcza	-	PN-EN 12697-18, p.5	$D_{0,6}$



Rys. 9. Próbkki mieszanek mineralno-asfaltowych (warstwa ścieralna z SMA 11 i warstwa ochronna z SMA 8) po badaniu koleinowania

Nawierzchnie asfaltowe na obiektach mostowych z zastosowaniem warstwy izolacyjno-ochronnej z mieszanki mastyksowo-grysowej o zwiększonej zawartości lepiszcza (SMA-MA):

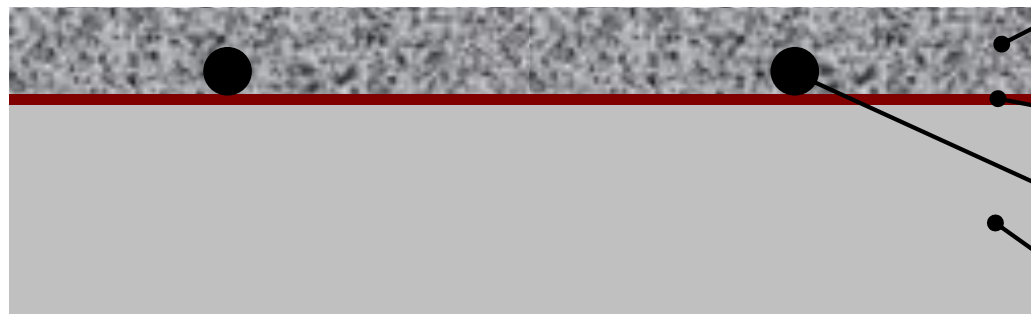
a) sprzed 15 lat:

- ✓ most stalowy, zwodzony w Dziwnowie – realizacja 1995 r.,
- ✓ most Cłowy w Szczecinie – realizacja 1998 r.,
- ✓ wiadukt drogowy w ciągu ul. Mickiewicza w Szczecinie – realizacja 2000 r.,
- ✓ most Długi w Szczecinie – realizacja 2000 r.,

b) z obecnego okresu:

- ✓ wiadukt drogowy w Policach – 2013 r.,
- ✓ wiadukt drogowy nad autostradą A6 (węzeł Tczewska) – realizacja 2014 r.,
- ✓ most na rzeką Dzierżęcinka w Koszalinie – realizacja 2014 r.

Most zwodzony w Dziwnowie



W-wa ściernalna z mieszanki mastyksowo-grysowej (nienormowej) o uziarnieniu do 12.8 mm, modyfikowanej LBSK

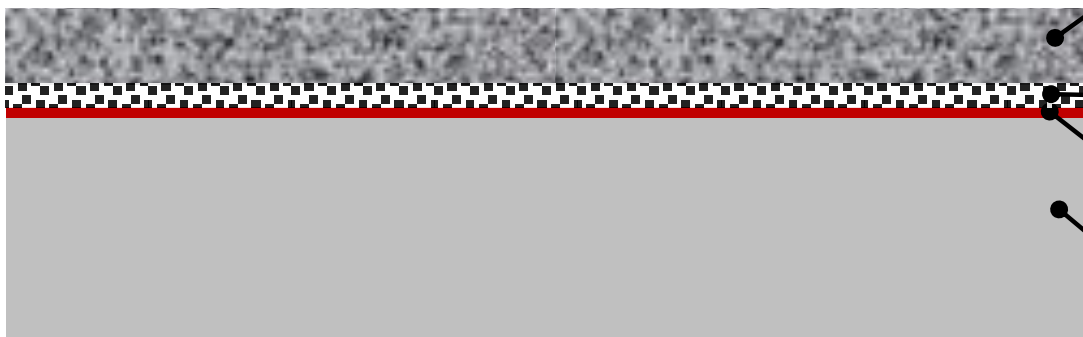
W-wa powłoki antykorozyjnej

Pręt stalowy, żebrowany ($\phi=16$ mm)

Płyta stalowa pomostu

Rys. 10. Przekrój podłużny izolacji-nawierzchni ułożonej na płycie mostu stalowego w Dziwnowie

Wiadukt drogowy w ciągu ul. Mickiewicza w Szczecinie



W-wa ściernalna z SMA 12 50/70,
modyfikowanego 2% LBSK

Wa-wa ochronna z SMA 6 50/70,
modyfikowana LBSK (ok. 3%)

W-wa powłoki antykorozyjnej

Płyta betonowa pomostu

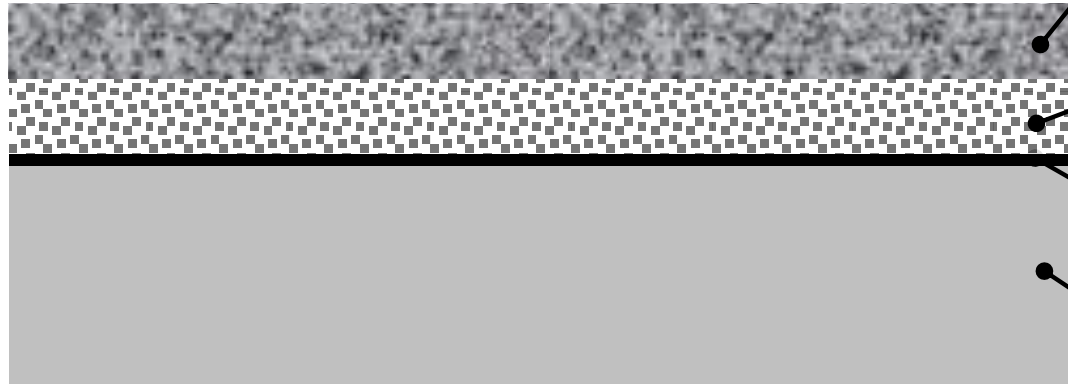
Rys. 11. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni ułożonej na wiadukcie o płycie betonowej wiaduktu w ciągu ulicy Mickiewicza w Szczecinie

Wiadukt drogowy w ciągu ul. Mickiewicza w Szczecinie



Rys. 12. Wygląd nawierzchni na wiadukcie w ciągu ul. Mickiewicza w Szczecinie po ok. 15 latach eksploatacji

Most Cłowy w Szczecinie



W-wa ścieralna z AC 12 50/70 (o zwiększonej zawartości grysów), modyfikowanego 2% LBSK

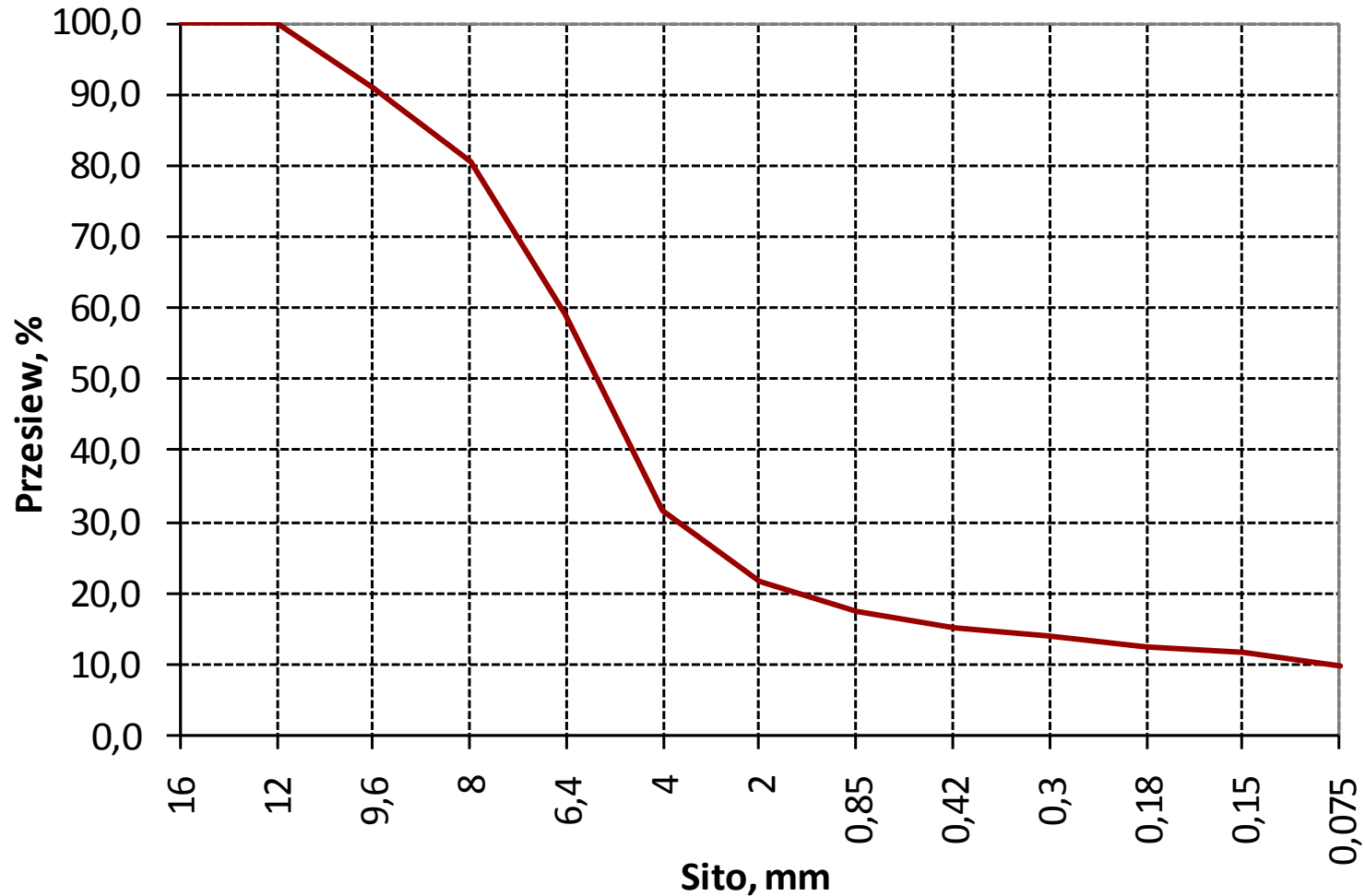
W-wa wiążąca z SMA 10 50/70 (o zwiększonej zawartości grysów), modyfikowanej 3% LBSK

W-wa szczipna z asfaltu o penetracji ok. 75×0,1 mm

Płyta betonowa pomostu

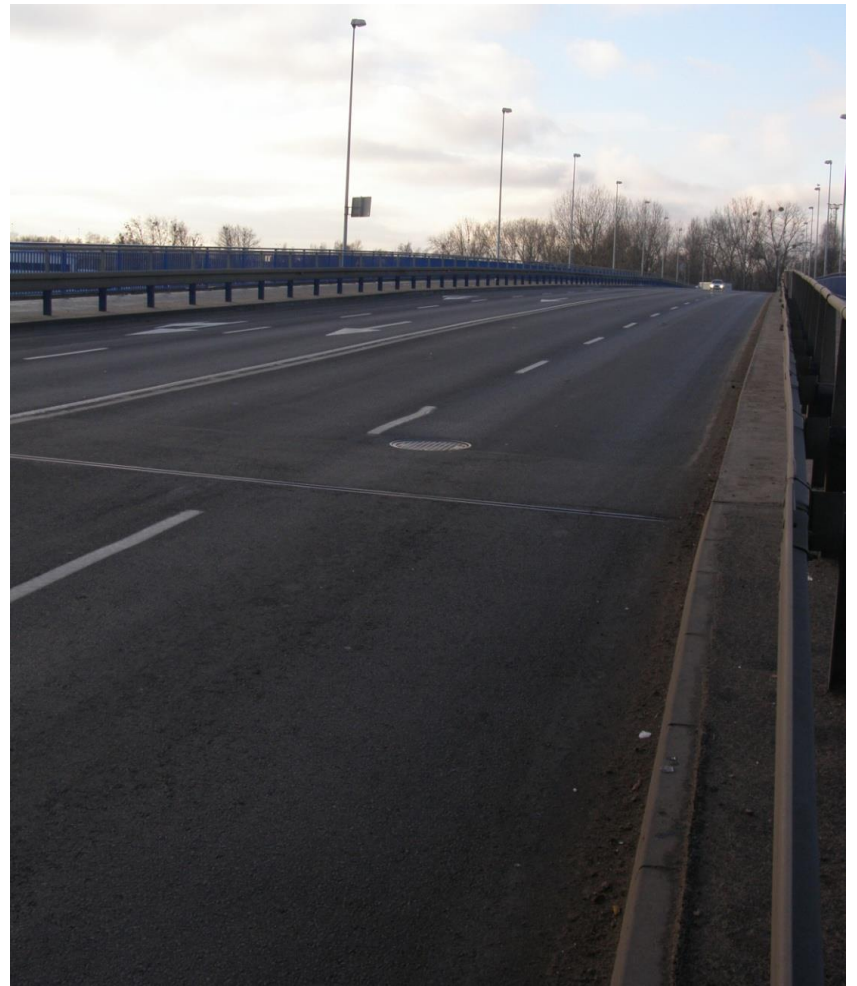
Rys. 13. Przekrój poprzeczny konstrukcji nawierzchni ułożonej na moście Cłowym w Szczecinie (płyta betonowa)

Most Cłowy w Szczecinie



Rys. 14. Skład mieszanki mineralnej SMA 10 z asfaltem o penetracji ok. 67×0.1 mm (ok. 8.0%), modyfikowanym dodatkiem 3% LBSK

Most Cłowy w Szczecinie



Rys. 15. Wygląd nawierzchni na moście Cłowym w Szczecinie po ok. 16 latach eksploatacji

Wiadukt drogowy nad autostradą A 6 (węzeł „Tczewska”)



Rys. 16. Warstwa ochronna na wiadukcie nad autostradą A6 (węzeł Tczewska)

**Wiadukt drogowy nad autostradą
A 6 (węzeł „Tczewska”)**



Rys. 17. Nawierzchnia na wiadukcie nad autostradą A6 (węzeł Tczewska) po 1 roku eksploatacji

Wiadukt drogowy w Policach



Rys. 18. Warstwa ochronna na wiadukcie drogowym w Policach - realizacja

Wiadukt drogowy Policach



Rys. 19. Nawierzchnia na wiadukcie drogowym w Policach po 2 latach eksploatacji

Most nad rzeką Dzierżęcinka w Koszalinie



Rys. 20. Most nad rzeką Dzierżęcinka w Koszalinie po 1 roku eksploatacji

WNIOSKI:

- ✓ wykonawstwo warstw izolacyjnych z udziałem pap termozgrzewalnych wymaga przestrzegania ścisłych zasad technologicznych, dających gwarancję prawidłowego funkcjonowania zabezpieczenia płyty pomostu przez długi okres użytkowania;
- ✓ podwójna warstwa lepiszcza w papie termozgrzewalnej powinna zapewnić dobre połączenie z podłożem i warstwami asfaltowymi, a w połączeniu z wkładką (poliestrową, szklaną czy węglową) przejmować i rozpraszać naprężenia wywołane zróżnicowaną rozszerzalnością płyty pomostu i warstw nawierzchni;
- ✓ wszelkiego rodzaju wybrzuszenia, pojawiające się w trakcie wbudowywania warstwy ochronnej, należy natychmiast przebijać, co umożliwi sklejenie papy z podłożem;

- ✓ powszechnie wykonywane warstwy ochronne na obiektach mostowych z asfaltu lanego można zastąpić mastyksami grysowymi SMA-MA, projektowanymi na całkowite wypełnienie wolnej przestrzeni;
- ✓ mastyksy grysowe SMA-MA o całkowicie wypełnionej wolnej przestrzeni mogą stanowić w połączeniu z warstwą lepiszcza asfaltowego dobre zabezpieczenie płyty pomostu przed oddziaływaniami korozyjnymi;
- ✓ niższe temperatury wbudowywania mastyksów oraz prostszy proces technologiczny w stosunku do asfaltów lanych daje możliwość przyspieszenia prac, uzyskania większej jednorodności MMA oraz zmniejszenia grubości bez utraty właściwości stawianych warstwie;
- ✓ twarde lepiszcza w asfaltach lanych (często dodatkowo utwardzane asfaltem naturalnym) nie zawsze gwarantują uzyskanie pełnej odporności na spękania niskotemperaturowe, potęgowane zróżnicowanymi odkształceniami płyty pomostu i samej mieszanki.



Bartosz Budziński
Paweł Mieczkowski
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Doświadczenia w zastosowaniu technologii SMA-MA

Dziękuję za uwagę

pawel.mieczkowski@zut.edu.pl

bartosz.budzinski@zut.edu.pl